

一种新的颜色视觉检测方法*

王植恒 陆剑林 万海峰 傅玉川

(四川大学物理系信息与智能研究所, 成都 610064)

摘 要 利用计算机控制的彩色图形系统来测试人眼对颜色的感受能力, 通过判断“E”形图的开口方向来检测色觉辨别力, 能够较方便准确地划分色盲的种类, 定量地划分色觉缺陷的等级, 同时也为推动颜色视觉理论的深入研究作了一些初步的尝试.

关键词 颜色视觉, 色觉辨别, 色觉障碍.

1 引 言

对于有色觉缺陷的人来说, 其颜色视觉与正常人的差异非常大, 需要利用色觉检查来检测他们的色觉异常或色觉障碍^[1]. 早期青光眼及糖尿病人的颜色对比敏感度和正常人相比有明显的差异^[2]. 同时, 对色觉障碍及色觉缺陷的研究, 有利于推动颜色视觉理论的深入研究, 其结果对于理解颜色视觉信息处理过程的特性和规律有着重要的意义. 如 Young-Helmholtz 的三色学说能够充分说明各种颜色的混合现象, 却不能满意地解释色盲现象, 而 Hering 的对立颜色学说能够解释色盲现象, 但是对三原色能产生光谱一切颜色这一现象没有给予说明. 这两种理论的综合导致了现在占主导地位的、将以上二者的长处结合起来的颜色视觉阶段理论的产生^[3]. 利用彩色图形监视器在屏幕上产生具有相同结构而颜色对比度细微变化的图形, 可以定量地进行色觉测试, 国内外也已利用彩色图形显示器来作颜色视觉实验^[4].

本文利用计算机控制的彩色图形系统来测试人眼对颜色的感受能力, 通过判断“E”形图的开口方向来检测色觉辨别力, 能方便、准确地划分色盲的种类, 定量地划分色觉缺陷的等级, 从而巧妙地避免了测试图形的复杂程度与被试本人经验对判断过程的影响. 本方法在选择各种假同色线方面具有很大的灵活性, 为大量的色觉检测实验提供了方便可靠的实验工具. 实验结果表明, 本方法不仅能够检查是否是色觉异常, 而且还发现对于有色觉障碍的被试来说, 外界刺激的空间频率对其颜色视觉的影响与正常人有着较为明显的差别.

2 测试方法

图1显示了一个典型的彩色CRT显示器的RGB三原色所能生成的全部颜色, 它在CIE色度图中为一三角形区域, R、G、B三点是显示器红、绿、蓝三原色的色度坐标. 本系统

* 国家自然科学基金资助课题.

收稿日期: 1993年6月30日; 收到修改稿日期: 1993年9月16日

通过 CIE1931 标准色度学系统(即 XYZ 系统)和彩色显示器的 RGB 三原色系统之间进行的变换,能够用 CIE 色度坐标值来描述所选择的颜色.关于彩色显示器上荧光物质的发光特性及其颜色规律在有关的文献上已有较详细的讨论和研究^[5,6].

由计算机控制的彩色显示器上所显示的图形如图 2 所示,测试图形色块在背景色块之上组成了开口方向随机变化的“E”字图形,与标准对数视力表上的图形极其相似.测试图形色块和背景色的搭配是根据色盲者的混同色对挑选的,如果这一色对可分辨,则必定可以分辨“E”字的开口方向,否则不可分辨.所以使测试图形色块的变化沿不同色觉缺陷者的混同色线(混淆直线)变化,根据被试判断图形“E”字的开口方向正确与否即可判断被试者是否能分辨测试图形与背景之间的色差.在这一点上与色盲检查图有明显的不同,这种检测方法不存在经验问题,只要辨识出“E”字的开口方向即可,同时它的开口方向是随机的,判断结果由计算机自动记录,且将混同线按一定规律划分等级,使检测结果做到客观定量.

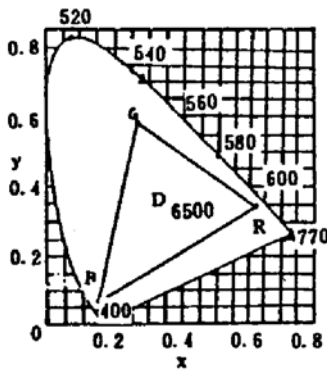


Fig. 1

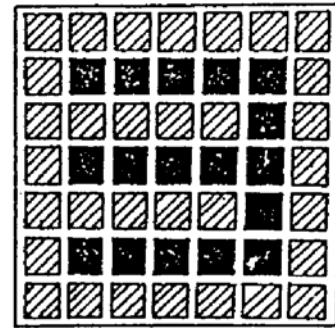


Fig. 2

假同色图的一个必要条件是各种颜色应该是等亮度的,关于异色等亮度的概念,一直是国际上讨论的热点问题.本文用闪烁光度测量法确定各种颜色的等亮度性,即让两种颜色的色块以一定频率交替闪烁,改变一种颜色的亮度,直至闪烁消失或者闪烁尽量微弱^[7].为进一步保证其准确性,两种颜色的等亮度性经闪烁光度测量法确定后,再用照度计对屏幕表面亮度进行比较测量,发现两种颜色用照度计测量的亮度在绝大部分情况下都是相同的,这也为本系统的测试结果的客观性提供了必要的保证.另外被试者判断“E”形图的开口方向时无须口述“上”、“下”、“左”、“右”,只须对照“E”字图按键盘的“↑”、“↓”、“→”、“←”键即可.

3 实验结果

为了验证本文提出的方法,初步的实验只选择了 CIE 色度空间中的变化直线如图 1 中的 R-G 连线,并将其间间隔按对数规则划分为 20 等级,其划分规律为:

1) 若以绿色为背景色,前景色由绿向红递变,那么划分公式为(1)式.

$$\ln [(x_i - x_0) \times \text{speed} + 1] = i \ln [(x_t - x_0) \times \text{speed} + 1] / N \quad (1)$$

2) 若以红色为背景色,前景色由红向绿递变,那么划分公式为(2)式.

$$\ln [(x_t - x_i) \text{speed} + 1] = (N - i) \ln [(x_t - x_0) \times \text{speed} + 1] / N \quad (2)$$

其中 N 为所分的级别总数, x_0 、 x_t 为线段两头的横坐标, speed 为收敛速度. i 为级别数. 本实验中 $N = 20$, $\text{speed} = 8$, $x_0 = 0.628$, $x_t = 0.268$. 实验检测图形如图 2 所示,其中每一个小色块的视角为 1.1° ,由小色块组成的“E”字图形视角为 6.3° ,观察距离为 50 cm. 图 3 和图 4 分别

表示了 1), 2) 两种测试条件下三名被试者的测试结果. 这三名被试者的视力色觉情况均有较大的差别. 被试者 A 为男性, 矫正视力 5.1, 通过色盲检查图检查发现有较明显的绿色盲倾向; 被试者 B 为男性, 矫正视力 5.1, 通过色盲检查图检查发现他辨认假同色图案显得比较困难. 被试者 C 为女性, 裸眼视力 5.2, 色觉正常. 实验在明视觉条件下进行, 为了减少色适应对测试的影响, 每一轮测试次数为 6-7 次.

作为对比实验, 作者将组成刺激图形的小色块变小, 即将检测图形中每一个小色块的视角改为 0.46° , 其它条件不变, 同样测出了与图 3、图 4 相似的测试结果. 图 5 反映了这两种观察条件下测试结果的差别.

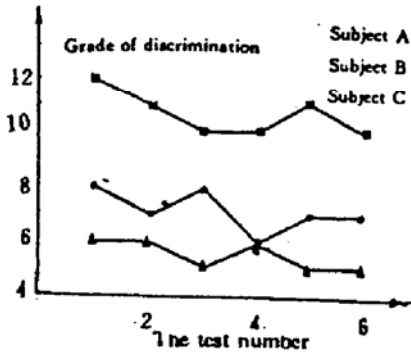


Fig. 3

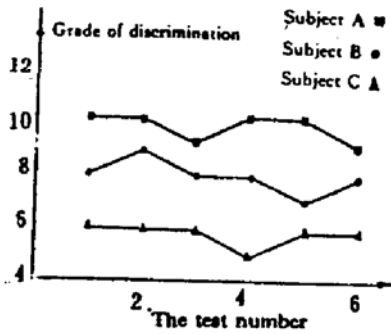


Fig. 4

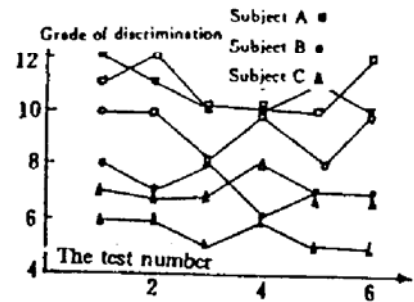


Fig. 5

4 实验结果讨论

1) 根据色盲检查图检查的结果, 被试者 A 有较严重的色觉障碍, 被试者 B 次之, 被试者 C 正常, 本实验结果即图 3 和图 4 正是反映了同样的测试结果. 图中级别越高, 意味着色觉障碍越严重. 由图中可以看到, 被试者 A 和被试者 B 在背景为绿色的测试条件和背景为红色的测试条件下的测试结果有较明显的差异, 而被试者 C 在两种测试条件下的测试结果却是一致的. 说明本方法不仅定量地测出了色觉障碍的等级, 而且还能较准确地测出色觉障碍的种类.

2) 当组成刺激图案的小色块变小时, 实际上空间频率的高频成分增加, 图 5 反映了空间频率对测试结果的影响 (Fig. 5 中 H、L 分别对应于大、小色块实验). Mullen 关于红-绿光栅的对比敏感度的测量表明, 正常的颜色视觉对红-绿光栅的对比感受性具有空间频率低通的特性^[8]. 图 5 中被试者 C 在较小色块的情况下测得的色觉级别比较大色块的情况下要高一级, 且极有规律; 而被试者 A 在两种情况下测得的结果却几乎没有什么差别; 但是对于被试者 B, 在两种情况下测试的结果却达成了统计意义上的差别. 可以说, 空间频率对被试者 B 的色觉过程有着较为严重的影响. 由此实验结果也可以说明用不同结构的图形来测试人的辨色能力是不够准确的, 因为图形结构不同, 它们所包含的空间频率成分也不同.

3) 本实验是作为一种新的方法的初步尝试, 其中所采取的各种标定无前人标准可循. 由于人视觉的对数特征, 故在 (1)(2) 式采用对数函数. 分级数 N 以及分级参数 $speed$ 是为了定量描述人的辨色能力所引入的参数.

4) Zeki 和 Livingstone 在大量的解剖学和生理学实验基础上分别提出了视觉信息处理的两个平行亚系统理论^[9, 10]. 该理论认为, 脑是这种运行系统的标志, 是综合分工. 输入视觉皮层的刺激信息的颜色、形状、运动及可见世界的其它属性都是分别处理的. 在外侧膝状体

上是层次分明的六层细胞, 其中四层是小细胞, 对颜色信息敏感, 另外两层是大细胞, 只对黑白亮度信息敏感. 按照通常对色觉缺陷的理解, 色觉障碍是由于某一类或两类色觉细胞不敏感所致, 即向大脑传递的输入信息中就已缺少了某些颜色信息; 但是, 由以上色觉障碍与空间频率有关的实验结果及视觉信息处理的两个亚系统理论, 可以认为这种障碍也可能发生在大脑对各类信息的视觉信息整合过程中, 即颜色信息和形状信息的整合过程中. 色盲检查图的检查过程不仅是对颜色视觉的检查, 同时也涉及到上述的整合过程. 而本系统可避免这种影响. 有一些现象初步显示, 被试者 B 的色觉障碍有可能与此有关, 还有待进一步研究.

5) 本文的实验所选择的比较色对在 CIE 色度图上的轨迹是一条较为特殊的直线, 其所选择的比较颜色的饱和度均较高. 真正要进行深入系统的研究还需要选择大量的其它色迹进行大量的实验, 如 R-B, G-B 以及其他色线, 不仅要有色调的变化, 还要测出随各种颜色饱和度的分辨结果, 然后才能挑选出一对测试结果最为理想的变化轨迹, 以便能得到更多的理论启示和有实用价值的实验结果.

参 考 文 献

- [1] 俞自萍, 颜色视觉与色盲. 贵阳, 贵州人民出版社, 1988, 144~168
- [2] 蒋 泽, 司凯平, 罗炳伟, 颜色对比敏感度测试系统的研制. 中国医疗器械杂志, 1991, 15(3): 134~136
- [3] 荆其诚, 焦书兰, 喻柏林等, 色度学. 北京, 科学出版社, 1978, 60~66
- [4] Wang Zhiheng, Dynamic color-discrimination ellipses. *Opt. Eng.*, 1993, 32(5): 970~973
- [5] D. F. Rogers(梁友栋, 石教英, 彭群生等译), 计算机图形学的算法基础. 北京, 科学出版社, 1987, 430~459
- [6] G. Buchsbaum, Color signal coding: Color vision and colortelevision, *Color research and application*. 1987, 12(5): 266~269
- [7] Heinweg Lang(张永辉, 王宽相, 邱成忠等译), 色度学与彩色电视. 北京, 中国电影出版社, 1985, 197~199
- [8] Kathy T. Mullen, The contrast sensitivity of human color vision to red-green and blue-yellow chromatic gratings. *J. Physiol.*, 1985, 359: 381~400
- [9] S. Zeki, S. Sipp, The functional logic of cortical connections. *Nature*, 1988, 335: 311~317
- [10] Margaret Livingstones, David Hubel, Segregation of form, color, movement, and depth: anatomy, physiology, and perception. *Science*, 1988, 240: 740~749

A New Method to Test the Ability of Color Discrimination

Wang Zhiheng Lu Jianlin Wan Haifeng Fu Yuchuan

(Information and Intelligence Group, Physics Department, Sichuan University, Chengdu 610064)

(Received 30 June 1993; revised 16 September 1993)

Abstract A new method to test the human ability of color discrimination is described in this paper. The color discrimination ability is tested by observer's judging the orientation of the pattern "E" varied at random. The sort of the color-blind can be determined conveniently and accurately. And the grade of the color defect can be determined quantitatively. The experimental results is useful to the theoretical research of color vision.

Key words color vision, color discrimination, color defect.